DOI: 10.21870/0131-3878-2021-30-4-108-116

УДК 611.341:611.423:612.014.482.4]-092.9

Влияние низкоинтенсивного гамма-излучения на морфологические особенности Пейеровых бляшек у мышей

Васянина К.А.¹, Ключева Л.А.¹, Олсуфьева А.В.², Шемяков С.Е.¹, Зоткин Д.А.³,
Косырева А.М.⁴, Вовкогон А.Д.³, Тимофеева М.О.³, Кудрявцев-Рашевский Д.В.³

¹ Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова, Москва;

² Университет «Синергия», Москва;

³ Первый московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова, Москва;

⁴ Научно-исследовательский институт морфологии человека, Москва

Кишечник является основной зоной сенсibilизации и рециркуляции иммуноцитов, которые заселяют слизистые оболочки других органов. Имунокомпетентные ткани пищеварительного тракта представлены лимфоидной тканью, где ведущая роль принадлежит Пейеровым бляшкам – групповым скоплениям лимфоидной ткани. Сенсibilизированные антигенами лимфоциты Пейеровых бляшек мигрируют в брыжеечные лимфатические узлы, а оттуда по лимфатическим сосудам через грудной проток и систему кровообращения направляются к собственному слою слизистой оболочки кишечника, главным образом, в качестве клеток, секретирующих IgA. Этот механизм обеспечивает формирование клонов лимфоцитов и образование специфических антител в участках слизистой оболочки, отдалённых от очага первичной сенсibilизации. Важным является следующее: в отличие от других лимфоидных тканей, которые требуют наличия инфекции или локальной иммунизации для формирования герминативного центра, центры размножения в Пейеровых бляшках присутствуют всегда, независимо от наличия инфекции. Постоянная экспозиция в Пейеровых бляшках бактерий или вирусов является причиной постоянного формирования в бляшках герминативных центров. Ионизирующее излучение нарушает сложные механизмы нейрогуморальной регуляции организма, это требует детального изучения для прогнозирования и коррекции иммунологических и биохимических сдвигов. Цель исследования – выявить закономерности морфофункциональной перестройки клеточного состава Пейеровых бляшек тонкой кишки мышей при воздействии низкоинтенсивного гамма-излучения (дозы излучения и схема эксперимента приведены в таблице). Воздействие гамма-излучения приводит к значительному изменению морфологических параметров лимфоидной ткани тонкой кишки мышей, а выраженность данного биоэффекта возрастает с 22-суточного воздействия (3 фракции облучения), и по мере увеличения сроков экспозиции становятся более выраженными.

Ключевые слова: *низкоинтенсивное гамма-излучение, тонкая кишка, Пейерова бляшка, время облучения, лимфоидная ткань, экспозиционная доза, иммунокомпетентные клетки, герминативные центры.*

Космическое излучение негативно сказывается на гомеостазе и влечёт за собой серьёзные нарушения морфофункционального состояния органов и тканей [1, 2]. Клинически доказано, что гамма-излучение нарушает пролиферацию, дифференцировку, функциональную активность тканей, тканевые взаимодействия, внутриклеточные репаративные процессы, клеточные регуляторные механизмы [3] и приводит к повреждениям генетического и мембранного аппарата клетки, изменению метаболической активности антиоксидантных ферментов и клеток в целом, экспрессии различных генов [4, 5]. Биологический эффект воздействия радиации на организм космонавтов и экспериментальных животных сопровождается серьёзными нарушениями гомеостаза [6, 7]. Слизистая желудочно-кишечного тракта, как и лимфоидная ткань, отличается активной пролиферацией, что делает её высокочувствительной к воздействию ионизирующего излучения [8].

Васянина К.А.* – ст. преподаватель, к.м.н.; **Ключева Л.А.** – доцент, к.м.н.; **Шемяков С.Е.** – зав. кафедрой, д.м.н., проф. РНИМУ им. Н.И. Пирогова. **Олсуфьева А.В.** – зав. кафедрой, к.м.н. Университет «Синергия». **Зоткин Д.А.** – ст. преподаватель; **Вовкогон А.Д.** – доцент, к.м.н.; **Тимофеева М.О.** – ст. преподаватель; **Кудрявцев-Рашевский Д.В.** – студент ИКМ им. Н.В. Склифосовского. Первый МГМУ им. И.М. Сеченова. **Косырева А.М.** – вед. науч. сотр., д.б.н. НИИМУ.

*Контакты: 107564, Москва, ул. 3-я Богатырская, 21/28. Тел.: 8-977-643-71-77; e-mail: gar-karina@yandex.ru.

Исходя из вышесказанного, целью нашего исследования является оценка морфофункционального состояния лимфоидной ткани Пейеровых бляшек при воздействии различных доз низкоинтенсивного гамма-облучения.

Материалы и методы

Объектом исследования являлись лимфоидные образования (групповые лимфоидные узелки) мышей-самцов линии F1 (СВАхС57BL6), в возрасте 30-35 дней, массой 20-23 г к началу эксперимента. Животных содержали на стандартном виварном пищевом рационе, что подразумевало ежедневное кормление сбалансированным гранулированным кормом при свободном доступе к воде. В эксперименте провели моделирование радиационного воздействия, когда мыши находились в гермокамерах с рабочим объёмом 12 м³. Исследования проводили на испытательном стенде для санитарно-химических и токсикологических исследований (УМБИ-1) ГНЦ ИМБП РАН. Экспериментальный стенд рассчитан на длительное пребывание животных и оснащён автономными системами жизнеобеспечения, используемыми в пилотируемых космических аппаратах. Общая длительность эксперимента была равна 160 суткам. Из них непосредственная продолжительность воздействий радиации на мышей составляла до 63 суток, максимальная длительность наблюдаемого реабилитационного периода – 90 суток. Облучение проводили с помощью гамма-установки ГОБО-60 с источником ¹³⁷Cs. Экспериментальных животных (40 мышей) подвергали общему равномерному гамма-облучению за период от 8 до 63 суток (4 группы наблюдений), при мощности дозы источника излучений – 25 сГр в час. Облучение мышей проводилось 1 раз в неделю по 2 часа в утреннее время суток, при указанной выше мощности источника доза за фракцию была около 50 сГр, а с учётом быстрых процессов восстановления на клеточном уровне эффективная доза за каждую фракцию составила 35 сЗв. С учётом этого обстоятельства для 1-й группы наблюдений (длительность эксперимента 8 суток, 1 сеанс облучения) уточнённая доза облучения равнялась 70 сГр, для 2-й группы (воздействие в течение 22 суток) – 140 сГр, для 3-й группы (воздействие – 36 суток) – 210 сГр, для 4-й группы (63 суток) – 350 сГр. Мыши 4-х «реабилитационных групп» также получили предварительно суммарное облучение 350 сГр. Каждую экспериментальную группу составили 10 мышей (табл. 1).

Доза облучения у различных групп животных была единственным фактором, который влиял на морфологические характеристики экспериментальных животных. Доза максимального экспериментального облучения была 350 сГр, с учётом разницы в продолжительности жизни и чувствительности к радиационному воздействию мыши и человека, это соответствует дозе облучения 120 сГр для человека, т.е. предельно допустимому уровню, установленному для длительных межпланетных пилотируемых полетов [9, 10]. Животные имели свободный доступ к воде и пище. Мышей контрольных групп (по 10 мышей в контроле для каждой из 4-х экспериментальных групп) содержали в аналогичных условиях (но без лучевых воздействий на них), выводили из эксперимента по срокам аналогично с экспериментальными животными соответствующих групп. Продольные кусочки тонкой кишки с выявляемой макро-микроскопически лимфоидной бляшкой «проводили» по батарее спиртов восходящей концентрации. Из каждого парафинового блока делали срезы толщиной 5-7 мкм. Гистологические срезы окрашивались гематоксилином-эозином, по Ван Гизон. Определяли длину и ширину Пейеровой бляшки, количество одиночных лимфоидных узелков на его продольном срезе; количество лимфоидных узелков с центром размножения

(за 100% принимали общее число лимфоидных узелков на срезе); длину и ширину лимфоидных узелков, центров размножения, общее количество клеток лимфоидного ряда в составе диффузной лимфоидной ткани, лимфоидных узелков без центра размножения, в центрах размножения и мантии лимфоидных узелков Пейеровых бляшек. Вычисляли среднеарифметическое значение параметров, их ошибку. Достоверность различий полученных результатов оценивали с помощью критерия Стьюдента.

Результаты и обсуждение

Низкоинтенсивное гамма-излучение существенно изменяет размер и состав лимфоидных бляшек. Влияние этого фактора на морфологию иммунных образований тонкой кишки зависит от длительности воздействия и, соответственно, от поглощённой дозы радиации (табл. 1).

Таблица 1

Параметры Пейеровых бляшек стенки тонкой кишки мышей в условиях низкоинтенсивного радиационного воздействия ($\bar{X} \pm S_x$)

Группа	Время воздействия и доза			
	8 сутки (70 сГр)	22 сутки (140 сГр)	36 сутки (210 сГр)	63 сутки (450 сГр)
Длина (мкм)				
Эксперимент	1190,6 $\pm$ 16,84	1138,8 $\pm$ 10,80	956,6 $\pm$ 12,52	938,8 $\pm$ 17,06
Контроль	1200,2 $\pm$ 8,42	1210,3 $\pm$ 9,61	1205,5 $\pm$ 10,26	1210,3 $\pm$ 10,80
Ширина (мкм)				
Эксперимент	645,2 $\pm$ 2,91	635,5 $\pm$ 2,81	580,0 $\pm$ 8,64	548,2 $\pm$ 8,42
Контроль	650,3 $\pm$ 2,70	638,2 $\pm$ 4,02	642,2 $\pm$ 3,99	653,3 $\pm$ 5,07
Количество лимфоидных узелков				
Эксперимент	10,1 $\pm$ 0,32	8,6 $\pm$ 0,32	6,0 $\pm$ 0,32	6,3 $\pm$ 0,32
Контроль	10,2 $\pm$ 0,32	10,2 $\pm$ 0,54	9,9 $\pm$ 0,43	10,0 $\pm$ 0,32
Количество лимфоидных узелков с центрами размножения (в % к общему количеству узелков)				
Эксперимент	57 $\pm$ 0,86	54,3 $\pm$ 1,84	34,2 $\pm$ 0,76	32,2 $\pm$ 1,29
Контроль	56,6 $\pm$ 0,86	54,8 $\pm$ 1,7	55,7 $\pm$ 1,51	53,8 $\pm$ 1,84
Площадь бляшки (мкм ²)				
Эксперимент	535,5 $\pm$ 3,88	533,2 $\pm$ 3,02	510,0 $\pm$ 4,75	467,2 $\pm$ 3,13
Контроль	542,2 $\pm$ 3,9	540,7 $\pm$ 3,88	548,8 $\pm$ 4,96	543,3 $\pm$ 3,67

Была проведена морфометрическая оценка показателей лимфоидной бляшки мышей с центрами и без центров размножения при воздействии низкоинтенсивного облучения. Так, морфометрические показатели бляшек без центров размножения на 8-е сутки эксперимента не отличаются от контрольной группы. Начиная с 22 суток (3 фракции облучения), отмечается тенденция к уменьшению размеров бляшки, а существенная перестройка морфометрических показателей отмечается на 36 и 63 сутки – длина и ширина бляшки уменьшается в 1,3 раза по сравнению с контрольной группой ($p < 0,05$).

Количество одиночных лимфоидных узелков без центров размножения в бляшке не меняется на 8 и 22 сутки по сравнению с контрольной группой (табл. 2). 36 сутки эксперимента характеризуются уменьшением количества лимфоидных узелков с центрами и без центров размножения в 1,3 раза ($p > 0,05$), а на 63 сутки опыта – в 1,4 раза. Площадь Пейеровых бляшек уменьшается на 36 сутки в 1,5 раза и в 1,64 раза на 63 сутки эксперимента соответственно. Аналогичные изменения в структурных компонентах лимфоидной бляшки отмечает Ключкова С.В. и соавт.:

уменьшается площадь и содержание лимфоидных узелков с центрами размножения [11]. Морфометрические показатели лимфоидных узелков бляшек мышей при действии малых доз радиации представлены ниже (табл. 3).

Таблица 2

Параметры лимфоидных узелков в составе Пейеровых бляшек тонкой кишки мышей в условиях низкоинтенсивного радиационного воздействия ($X \pm Sx$; мкм)

Группа	Время воздействия и доза			
	8 сутки (70 сГр)	22 сутки (140 сГр)	36 сутки (210 сГр)	63 сутки (450 сГр)
Длина лимфоидного узелка с центром размножения (мкм)				
Эксперимент	80,0±0,93	82,2±1,08	56,4±0,65	50,0±0,65
Контроль	85,1±1,33	86,2±1,39	86,4±1,93	85,6±2,32
Ширина лимфоидного узелка с центром размножения (мкм)				
Эксперимент	78,0±1,08	76,0±1,42	54,2±0,52	47,8±0,67
Контроль	78,8±1,19	77,5±1,68	76,2±2,04	76,8±2,28
Длина центра размножения (мкм)				
Эксперимент	44,2±0,97	45,3±0,62	34,2±0,60	30,1±0,4
Контроль	45,7±1,38	47,4±1,37	46,4±0,76	47,4±0,21
Ширина центра размножения (мкм)				
Эксперимент	32,2±0,77	32,2±0,86	24,5±0,68	22,6±0,52
Контроль	37,2±0,50	37,0±0,41	36,6±0,71	37,2±0,58
Длина лимфоидного узелка без центра размножения (мкм)				
Эксперимент	57,7±0,91	55,5±0,62	51,1±0,89	47,7±0,86
Контроль	60,4±0,69	62,0±0,70	61,1±0,74	63,3±0,99
Ширина лимфоидного узелка без центра размножения (мкм)				
Эксперимент	50,0±0,96	46,6±0,85	43,3±0,81	36,6±0,45
Контроль	54,2±0,71	53,1±0,54	53,4±0,70	52,4±0,87
Площадь герминативных центров лимфоидных узелков (мкм ²)				
Эксперимент	64,4±0,90	63,30±0,89	54,4±0,67	50,0±0,61
Контроль	67,8±1,8	68,8±1,69	66,3±1,96	65,8±2,07

Морфометрические показатели лимфоидных узелков с центрами размножения претерпевают аналогичные изменения. Так, длина на 8 и 22 сутки эксперимента не меняется, а на 36 сутки опыта – уменьшается в 1,53, на 63 сутки – в 1,71 раза ($p < 0,05$). По мере увеличения сроков облучения происходит уменьшение ширины узелка – на 36 сутки в 1,41 раза, а на 63-е сутки – в 1,61 раза по сравнению с контролем ($p < 0,05$).

Длина центра размножения лимфоидного узелка мышей экспериментальных групп на 8 и 22 сутки эксперимента соответствуют контрольным значениям, на 36 сутки опыта уменьшается в 1,36 ($p < 0,05$), а на 63-е сутки – в 1,57 раза ($p < 0,05$). Ширина центра размножения лимфоидного узелка Пейеровой бляшки мышей на 36-е сутки воздействия в 1,49 раза, а на 63-е сутки – в 1,64 раза меньше контрольных показателей ($p < 0,05$).

В эксперименте также меняется длина и ширина лимфоидного узелка без центра размножения. На 36-е сутки опыта длина узелка уменьшается незначительно – в 1,19 раза ($p < 0,05$), а на 63-е сутки – в 1,33 раза ($p < 0,05$). Ширина лимфоидного узелка без центра размножения начинает уменьшаться на 63-е сутки эксперимента: в 1,4 раза меньше контрольного показателя ($p < 0,05$). Известно, что, начиная с 30-40-суточного радиационного воздействия, отмечается тенденция к уменьшению размеров элементов лимфоидной ткани. Существует зависимость между активностью деления клеток ткани или органа и степенью радиационного поражения: чем выше

активность деления, тем выше риск возникновения нарушений в результате влияния ионизирующего излучения. Наиболее чувствительны к воздействию ионизирующего излучения ткани и органы с клетками, которые интенсивно делятся: органы кроветворения (костный мозг, лимфатические узлы, селезенка) и пищеварения (слизистые оболочки желудка и особенно, тонкой кишки), половые железы [12, 13].

Количество клеток лимфоидного ряда в различных компонентах Пейеровой бляшки также изменяется в условиях радиационных воздействий (табл. 3). Наиболее существенные изменения в лимфоидной бляшке прослеживаются на 36 сутки экспериментального воздействия: общее количество клеток лимфоидного ряда в диффузной лимфоидной ткани уменьшается в 1,31, а на 63-е сутки – в 1,67 раза относительно контрольной группы ($p < 0,05$). Лимфоидные узелки с центрами размножения реагируют сходным образом. В центрах размножения лимфоидных узелков на 36 сутки опыта общее количество клеток лимфоидного ряда уменьшается в 1,45, а на 63 сутки – в 1,66 раза ($p < 0,05$). В мантии лимфоидных узелков на 36 сутки эксперимента данный показатель уменьшается в 1,33, а на 63-е сутки – в 1,50 раза ($p < 0,05$). Изучена перестройка клеточного состава лимфоидной ткани селезенки через 7, 15 и 30 суток после облучения в дозе 50 рад у мышей BALB/c. Установлен неравномерный характер изменения клеточного состава селезенки при различных сроках экспозиции – начиная с 7 суток облучения в структурных зонах селезенки у мышей отмечается резкое снижение количества бластных форм и клеток с картинами митоза, что отражает более низкий уровень лимфоцитопоза [14].

Таблица 3

Количество клеток лимфоидного ряда в различных компонентах Пейеровой бляшки тонкой кишки мышей в условиях низкоинтенсивного радиационного воздействия ($X \pm Sx$)

Группа	Время воздействия (структурный компонент бляшки)			
	8 сутки (70с Гр)	22 сутки (140 сГр)	36 сутки (210 сГр)	63 сутки (450 сГр)
Лимфоидные узелки без центра размножения				
Эксперимент	28,5±0,54	27,4±0,75	22,0±0,54	18,5±0,54
Контроль	30,2±0,43	30,0±0,54	29,2±0,54	30,0±0,54
Центр размножения лимфоидных узелков				
Эксперимент	33,0±0,54	30,0±0,43	25,4±0,54	20,2±0,54
Контроль	34,2±0,54	33,1±0,54	32,5±0,54	34,0±0,65
Мантия лимфоидных узелков				
Эксперимент	25,0±0,54	22,0±0,65	17,2±0,54	13,0±0,43
Контроль	26,2±0,43	25,2±0,43	25,0±0,54	24,9±0,65
Диффузная лимфоидная ткань				
Эксперимент	32,9±0,65	30,0±0,54	26,2±0,43	24,0±0,43
Контроль	35,7±0,43	36,2±0,43	35,0±0,54	36,0±0,54

Анализ полученных данных показывает, что в условиях низкоинтенсивного радиационного воздействия на 8 сутки эксперимента морфометрические показатели Пейеровых бляшек тонкой кишки мышей соответствуют контрольным значениям. Начиная с 22-суточного воздействия, отмечается тенденция к уменьшению площади лимфоидной ткани во всех функциональных зонах лимфоидного узелка. 36 и 63 сутки облучения сопровождаются существенными морфофункциональными перестройками в лимфоидной бляшке мышей: уменьшается их площадь, размеры и количество узелков с центром размножения, а также сужаются герминативные центры, в которых происходит активация иммунного ответа в норме. В последние сроки эксперимента (36 и 63 сутки) содержание клеток лимфоидного ряда в герминативных центрах лимфоидных узелков

уменьшается в 1,6 раза и в 1,9 раза в мантийной зоне узелка. В более поздние сроки отмечается снижение пролиферативной активности лимфоидной ткани, что косвенно свидетельствует о снижении общей реактивности организма.

Таким образом, морфологический паттерн в условиях низкоинтенсивного облучения зависит от сроков и продолжительности воздействия альтерирующего фактора. Заметим, что при экспериментальном моделировании невесомости и гипокинезии отмечались сходные структурные перестройки в лимфоидных узелках двенадцатиперстной кишки и селезёнки крыс [15].

Заключение

Радиационные эффекты, возникающие в тканях и органах человека, непосредственно связаны с повреждением, а иногда и с гибелью клеток, из которых они сформированы. Развивающиеся с 36 суток низкоинтенсивного радиационного воздействия процессы дегенерации и снижения пролиферативной активности в Пейеровых бляшках могут указывать на угнетение локальной иммунной защиты и общих адаптационных возможностей организма. Полученные данные помогут раскрыть характер и динамику влияния радиационного фактора на иммунную защиту желудочно-кишечного тракта в морфологическом аспекте, учитывая сроки и дозы облучения, что значимо для космической, радиационной биологии и профилактической медицины. Экспериментальные данные целесообразно учитывать при разработке соответствующих мер подготовки к условиям космического полёта, в первую очередь, радиационной защиты, а также реабилитации после полёта.

Литература

1. **Заварыкина Т.М.** Структурные изменения ДНК при действии низкоинтенсивной ионизирующей радиации в малых дозах: автореф. дис. ... канд. мед. наук. М., 2008. 26 с.
2. **Ильин Л.А., Кириллов Л.А., Коренков И.П.** Радиационная гигиена. М: ГЭОТАР-Медиа, 2010. 384 с.
3. **Ничипорук И.А., Васильева Г.Ю., Рыкова М.П., Антропова Е.Н., Берендеева Т.А., Белоусова И.В.** Взаимосвязи психонейроэндокринной системы и иммунного статуса в условиях кратковременной гипокинезии и 7-суточной «сухой» иммерсии //Механизмы функционирования висцеральных систем: сб. докл. VII Всероссийской конференции. СПб, 2009. С. 314-315.
4. **Morukov B., Rykova M., Antropova E., Berendeeva T., Ponomaryov S., Larina I.** T-cell immunity and cytokine production in cosmonauts after long-duration space flights //Acta Astronautica. 2011. V. 68, N 7. P. 739-746.
5. **Попова М.Ф.** Радиочувствительность и стимулирующие свойства регенерирующих тканей млекопитающих. М: Наука, 1984. 174 с.
6. **Гусаров И.И., Иванов С.И.** О защитных эффектах действия малых доз ионизирующего излучения: обзор литературы //АНРИ. 2001. № 4. С. 8-17.
7. **Мазурик В.К., Мороз Б.В.** Проблемы радиобиологии и белок р-53 //Радиационная биология. Радио-экология. 2001. Т. 41, № 5. С. 548-572.
8. **Григоренко Д.Е., Ерофеева Л.М., Сапин М.Р.** Цитологический профиль тимуса и селезенки мышей после гамма-облучения //Морфология. 1997. Т. 112, № 6. С. 53-57.
9. **Johnston C.J., Manning C., Hernady E., Reed C., Thurston S.W., Finkelstein J.N., Williams J.P.** Effect of total body irradiation on late lung effects: hidden dangers //Int. J. Radiat. Biol. 2011. V. 87, N 8. P. 902-913.
10. **Татаркин С.В.** Гемопозз и метаболический статус эритроцитов мышей при длительном комбинированном воздействии ионизирующей радиации и химических веществ, моделирующих условия межпланетных полётов: автореф. дис. ... канд. мед. наук. М., 2013. 26 с.
11. **Клочкова С.В., Кварацхелия А.Г., Алексеева Н.Т., Никитюк Д.Б.** О реабилитационных возможностях лимфоидной ткани тонкой кишки у мышей после действия низкоинтенсивного радиационного фактора //Бюллетень экспериментальной биологии и медицины. 2017. Т. 164, № 8. С. 245-248.
12. **Шафиркин А.В., Коломенский А.В., Митрикас В.Г., Петров В.М.** Дозовые нагрузки и величины радиационного риска для космонавтов при экспедиции к Марсу на основе реальных конструкторских разработок марсианского корабля //Авиакосмическая и экологическая медицина. 2010. Т. 44, №1. С. 5-14.
13. **Рыбкина В.Л., Азизова Т.В., Майнеке В., Шерман Г., Дерр Х., Адамова Г.В., Теплякова О.В., Осовец С.В., Пикулина М.В., Зурочка А.А.** Влияние хронического облучения на некоторые показатели иммунитета //Иммунология. 2015. № 3. С. 145-149.
14. **Буклис Ю.В.** Исследование иммунных структур селезенки у мышей после воздействия хронического радиационного фактора низкой интенсивности (экспериментально-морфологическое исследование): Автореф. дис.... канд. мед. наук. М., 2012. 27 с.
15. **Григоренко Д.Е.** Особенности клеточного состава лимфоидной ткани селезенки мышей после длительного применения легкоизотопной воды и облучения //Морфология. 2015. Т. 148, № 4. С. 19-23.

Effect of low-intensity radiation on the morphological features of Peyer's plaque

Vasyanina K.A.¹, Klyueva L.A.¹, Olsufieva A.V.², Shemyakov S.E.¹, Zotkin D.A.³,
Kosyreva A.M.⁴, Vovkogon A.D.³, Timofeeva M.O.³, Kudryavtsev-Rashevsky D.V.³

¹ N.I. Pirogov RNRMU, Moscow;

² Synergy University, Moscow;

³ I.M. Sechenov First MSU, Moscow;

⁴ RIHM, Moscow

Radiation has a negative impact on human health because of its high penetrating power. Mitotically dividing cells and the lymphoid tissue of the gastrointestinal tract are most radiosensitive. The intestine is the major zone of sensitization and recycling of immunocytes that populate the mucous membranes of other organs. Immune-competent tissues of the digestive tract are represented by lymphoid tissue, where the leading role belongs to Peyer's plaques-group accumulations of lymphoid tissue. The antigen-sensitized lymphocytes of Peyer's plaques migrate to the mesenteric lymph nodes, and from there through the lymphatic vessels through the thoracic duct and circulatory system and are directed to their own layer of the intestinal mucosa, mainly as IgA-secreting cells. This mechanism ensures the formation of clones of lymphocytes and the formation of specific antibodies in the areas of the mucous membrane that are remote from the focus of primary sensitization. The important thing is that, unlike other lymphoid tissues that require infection or local immunization to form a germinal center, reproduction centers are always present in Peyer's plaques, regardless of the presence of infection.

Key words: low-intensity gamma-radiation, small intestine, Peyer's plaque, irradiation time, lymphoid tissue, exposure dose, immunocompetent cells, germinal centers.

References

1. **Zavarykina T.M.** Strukturnyye izmeneniya DNK pri deystvii nizkointensivnoy ioniziruyushchey radiatsii v malykh dozakh: Avt. diss. kand. med. nauk [Structural changes in DNA under the action of low-intensity ionizing radiation in low doses. Kand. med. sci. diss]. Moscow, 2008. 26 p.
2. **Il'in L.A., Kirillov L.A., Korenkov I.P.** Radiation hygiene. Moscow, Geotar-Media, 2010. 384 p. (In Russian).
3. **Nichiporuk I.A., Vasil'yeva G.Yu., Rykova M.P., Antropova E.N., Berendeyeva T.A., Belousova I.V.** The relationship of the psychoneuroendocrine system and immune status in conditions of short-term hypokinesia and 7-day "dry" immersion. *Mechanisms of the functioning of visceral systems: Proc. 7th All-Russ. Conf.* Sankt-Petersburg, 2009, pp. 314-315. (In Russian).
4. **Morukov B., Rykova M., Antropova E., Berendeeva T., Ponomaryov S., Larina I.** T-cell immunity and cytokine production in cosmonauts after long-duration space flights. *Acta Astronautica*, 2011, vol. 68, no. 7, pp. 739-746.
5. **Popova M.F.** Radiochuvstvitel'nost' i stimuliruyushchiye svoystva regeneriruyushchikh tkaney mlekoopitayushchikh [Radiosensitivity and stimulating properties of regenerating mammalian tissues]. Moscow, Nauka Publ., 1984. 174 p.
6. **Gusarov I.I., Ivanov S.I.** Protective effects of low doses of ionizing radiation: a review of the literature. *ANRI – ANRI Journal*, 2001, no. 4, pp. 8-17. (In Russian).
7. **Mazurik V.K., Moroz B.V.** Problems of radiobiology and p-53 protein. *Radiatsionnaya biologiya. Radioekologiya – Radiation Biology. Radioecology*, 2001, vol. 41, no. 5, pp. 548-572. (In Russian).

Vasyanina K.A.* – Senior Lecturer, C. Sc. Med.; Klyueva L.A. – Assoc. Prof., C. Sc. Med.; Shemyakov S.E. – Head of Dep., MD, Prof. N.I. Pirogov RNRMU. Olsufieva A.V. – Head of Dep., C. Sc. Med. Synergy University. Zotkin D.A. – Senior Lecturer; Vovkogon A.D. – Assoc. Prof., C. Sc. Med.; Timofeeva M.O. – Senior Lecturer; Kudryavtsev-Rashevsky D.V. – Student of N.V. Sklifosovsky ICM. I.M. Sechenov First MSU. Kosyreva A.M. – Lead. Researcher, D. Sc. Biol. RIHM.

*Contacts: 21/28 3rd Bogatyrskaya str., Moscow, Russia, 107564. Tel.: 8-977-643-71-77; e-mail: gar-karina@yandex.ru.

8. **Grigorenko D.E., Erofeeva L.M., Sapin M.R.** Cytological profile of the thymus and spleen of mice after gamma irradiation. *Morfologiya – Morphology*, 1997, vol. 112, no. 6, pp. 53-57. (In Russian).
9. **Johnston C.J., Manning C., Hernady E., Reed C., Thurston S.W., Finkelstein J.N., Williams J.P.** Effect of total body irradiation on late lung effects: hidden dangers. *Int. J. Radiat. Biol.*, 2011, vol. 87, no. 8, pp. 902-913.
10. **Tatarkin S.V.** The hemopoiesis and metabolic status of the erythrocytes of mice with prolonged combined exposure to ionizing radiation and chemicals that simulate the conditions of interplanetary flights: Cand. med. sci. diss. Moscow, 2013. 26 p. (In Russian).
11. **Klochkova S.V., Kvaratskheliya A.G., Alekseyeva N.T., Nikityuk D.B.** On the rehabilitation possibilities of the lymphoid tissue of the small intestine in mice after the action of a low-intensity radiation factor. *Byulleten' eksperimental'noy biologii i meditsiny – Bulletin of Experimental Biology and Medicine*, 2017, vol. 164, no. 8, pp. 245-248. (In Russian).
12. **Shafirkin A.V., Kolomenskiy A.V., Mitrikas V.G., Petrov V.M.** Dose loads and radiation risk values for astronauts during the expedition to Mars based on the actual design of the Martian spacecraft. *Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina – Aerospace and Environmental Medicine*, 2010, vol. 44, no. 1, pp. 5-14. (In Russian).
13. **Rybkina V.L., Azizova T.V., Mayneke V., Shertan G., Derr H., Adamova G.V., Teplyakova O.V., Osovets S.V., Pikulina M.V., Zurochka A.A.** The influence of chronic radiation on some indicators of immunity. *Immunologiya – Immunology*, 2015, no. 3, pp. 145-149. (In Russian).
14. **Buklis Yu.V.** Issledovaniye immunnykh struktur selezenki u myshey posle vozdeystviya khronicheskogo radiatsionnogo faktora nizkoy intensivnosti (eksperimental'no-morfologicheskoye issledovaniye). Avt. diss. kand. med. nauk. [Investigation of the immune structures of the spleen in mice after exposure to a chronic radiation factor of low intensity (an eksperimentalno-morphological study: Cand. med. sci. diss. auth ref. Moscow, 2012. 27 p. (In Russian).
15. **Grigorenko D.E.** Features of the cellular composition of the lymphoid tissue of the spleen of mice after prolonged use of easily isotopic water and irradiation. *Morfologiya – Morphology*, 2015, vol. 148, no. 4, pp. 19-23. (In Russian).